

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AQUECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO COMPOSTAGEM COMO
FONTE BIO-TÉRMICA**

ACADÊMICO: BRUNO BETTARELLO

FLORIANÓPOLIS, OUTUBRO DE 2007

AQUECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO COMPOSTAGEM COMO FONTE BIO-TÉRMICA

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Agronomia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

ACADÊMICO: Bruno Bettarello

PROFESSOR ORIENTADOR: Prof. Antônio Augusto Alves Pereira

SUPERVISOR: Prof. Paul Richard Momsen Miller

FLORIANÓPOLIS, OUTUBRO DE 2007

AQUECIMENTO DE ÁGUA UTILIZANDO COMPOSTAGEM COMO FONTE DE ENERGIA BIO-TÉRMICA

Por

Bruno Bettarello

Monografia aprovada como requisito para a obtenção do título de Engenheiro

Agrônomo pela Comissão formada por:

Prof. Antônio Augusto Alves Pereira

Orientador

Prof. Paul Richard Momsen Miller

Banca Examinadora

Mestranda

Banca Examinadora

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por estar sempre ao meu lado me orientando e mostrando o caminho do bem. Obrigado pela saúde recuperada em momentos críticos de minha vida.

A minha mulher Violeta Toledo Piza Arantes pela paciência, amor, carinho e por ter acreditado sempre no sucesso da minha futura carreira. Por estar ao meu lado nos dois momentos mais difíceis da minha vida e por ceder seu ventre para gestar o maior presente que estamos prestes a receber de Deus. Te amo muito.

Ao meu irmão e melhor amigo Gustavo Bettarello por acreditar na minha formação e por toda ajuda nestes anos. Obrigado por tudo, mas principalmente por ter salvado minha vida recentemente. Sua ajuda dia 14 de setembro deste ano, mesmo que muito longe daqui, contribuiu para o médico tomar a decisão certa pouco antes da minha internação.

Aos meus pais Luiz Eduardo Loureiro Bettarello e Verônica Maria Jordan por todo carinho, amor, educação e conforto durante toda minha vida. Sem isso eu seria incapaz de alcançar mais esta conquista.

A minha irmã Ângela Bettarello e minha madrastra Ruth Bettarello por todo amor e carinho mesmo que geograficamente distantes.

Ao amigo e Prof. Antônio Augusto Alves Pereira pelos conhecimentos transmitidos e pela ajuda na conclusão deste trabalho.

Ao amigo e Prof. Paul Richard Momsen Miller pelos anos de trabalho juntos e por todo conhecimento adquirido durante os três últimos anos.

Aos meus amigos de trabalho que contribuíram muito para a execução deste experimento.

Sumário

1.	Delimitação.....	01
2.	Objetivo Geral.....	02
3.	Objetivos específicos.....	02
4.	Justificativa.....	03
5.	Revisão Bibliográfica.....	04
6.	Formulação do Problema.....	08
7.	Hipótese.....	08
8.	Metodologia.....	09
9.	Cronograma de Execução do Estagio.....	11
10.	Referências Bibliográficas.....	12

CARACTERIZAÇÃO DO ESTÁGIO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Título: Aquecimento de água utilizando compostagem como fonte de energia bio-térmica.

Estagiário: Bruno Bettarello

Matricula:0318603-2

Curso: Graduação em Agronomia

Instituição: Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Centro de Ciências Agrárias – CCA

Local do estágio: Laboratório de Biotecnologia Neolítica

Período de Estágio: 01 de agosto de 2007 a 31 de outubro de 2007.

Carga horária: 400 horas

Supervisor: Prof. Paul Richard Momsen Miller

Orientador: Prof. Antônio Augusto Alves Pereira

BETTARELLO, BRUNO, **Aquecimento de água utilizando compostagem como fonte de energia bio-térmica**. Monografia de conclusão do Curso de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a possibilidade de usar a compostagem como fonte de energia para aquecer a água em diferentes tipos de trocadores de calor (barril). Foram analisados tanto barris de plástico como de metal, ambos com 200 litros de volume. Os barris foram enterrados dentro das leiras de compostagem, fazendo troca direta de calor entre a água e a leira. A temperatura da leira foi monitorada diariamente em quatro diferentes alturas de 6 pontos distintos (3 próximos ao trocador metálico e os outros três próximos ao plástico) e verificou-se pouca diferença de temperatura entre dos dois tratamentos. Foi observado a velocidade de aquecimento da água no decorrer de 4 dias, tempo que a água demorou para estabilizar sua temperatura. O trocador de calor metálico elevou a temperatura da água de 22°C para 58,7°C, enquanto que o plástico elevou a mesma temperatura inicial para 55,2°C. O experimento mostrou que a energia bio-térmica gerada pelas leiras de compostagem pode ser eficientemente utilizada para aquecer a água a temperaturas superiores a 55°C.

Palavras-chave: Compostagem; Aquecimento; Energia bio-térmica

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Tubos de drenagem utilizados como aeradores

Figura 2: Instalação da tubulação de aquecimento

Figura 3: Trocadores de calor plástico e metálico e tubo de aeração

Figura 4: Tubulação de drenagem utilizada como aerador

Figura 5: Montagem da leira de compostagem

Figura 6: Calor liberado pela atividade microbiana

Figura 7: Leira pronta com trocadores de calor instalados

Figura 8: Funcionamento do trocador de calor enterrado dentro da leira

1 - DELIMITAÇÃO

A compostagem de resíduos orgânicos é uma prática realizada há vários séculos. Ela baseia-se em transformar resíduo orgânico em fertilizante. Contudo, atualmente vem ganhando maior importância devido ao constante aumento na geração de lixo, causando inúmeros problemas sócio-ambientais. Mesmo assim a compostagem pode oferecer algo mais do que somente um insumo de excelente qualidade.

Durante o processo de decomposição da matéria orgânica, os microrganismos utilizam a água, o oxigênio e os resíduos orgânicos para a realização deste trabalho. Como resultado desta intensa atividade microbiana, temos o aquecimento deste material que está sendo degradado. Sabe-se que as temperaturas de uma leira quando bem conduzida pode chegar a 80 graus centígrados. Então por que não aproveitar esta energia?

Este trabalho visa utilizar a energia biotérmica produzida nas leiras de compostagem para aquecer água.. Serão testados trocadores de calor de diferentes matérias que ficarão enterrados dentro das leiras fazendo troca direta de calor entre os dois meios. Também será analisada a velocidade de aquecimento da água e o tempo de cura do composto que está diretamente ligado com o aquecimento da mesma.

2 - OBJETIVO GERAL

Este trabalho visa demonstrar a eficiência do aquecimento de água utilizando energia biotérmica gerada pela decomposição da matéria orgânica em leiras de compostagem.

3 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Testar dois tipos diferentes de materiais que serão utilizados para armazenar e aquecer a água os quais estarão enterrados dentro das leiras.

- Determinar a velocidade de aquecimento da água e o tempo necessário para a estabilização da temperatura da mesma dentro dos trocadores de calor de materiais diferentes.

- Avaliar as curvas de aquecimento da leira durante as fases termofílicas e mesofílicas para determinar o tempo aproximado da viabilidade deste tipo de aquecimento de água
- Medir a temperatura da leira em 4 diferentes cotas (20cm, 40cm, 60cm e 80cm em relação ao solo), assim como a temperatura da água diariamente.

4 - JUSTIFICATIVA

O homem é um gerador contínuo de resíduos extra-naturais, se comparado a outros animais. Dentre os resíduos gerados pelo homem estão papeis em geral, embalagens diversas em vidro, metal, plástico e caixas, além de restos de alimentos que constitui a parte orgânica do lixo. (PORTUGAL, 92)

Os materiais como plásticos, papéis, vidros e metais poder ser facilmente reutilizados por sistemas já existentes de coleta seletiva de lixo. Porém a parte orgânica continua sendo problemática quando não devidamente destinada. O principal destino da fração orgânica do lixo ainda são os aterros sanitários que já mostraram-se insustentáveis e potencialmente poluidores de corpos hídricos. Em países desenvolvidos há aterros sanitários só para orgânicos, onde se aproveita os gases gerados (são queimados) ou para se produzir adubos (compostagem). (PORTUGAL, 92)

A compostagem no século XIX era conhecido na Europa como "nitreira", composta de restos vegetais e animais amontoados para decomporem naturalmente sem nenhuma técnica especializada (KIEHL,E.J.,85). Hoje a compostagem é vista como uma técnica utilizada para se obter de forma mais rápida uma matéria orgânica estabilizada de boa qualidade.

A degradação da matéria orgânica no processo de compostagem é feita por uma grande variedade de microrganismos como fungos bactérias e actinomicetes que utilizam o oxigênio, a água e resíduos orgânicos para realizar seu metabolismo. Como resultado deste metabolismo temos substancias humificadas e estabilizadas com características físico-químicas diferentes do material que lhe deram origem através de reações exotérmicas liberando CO² e calor que dentro da leira pode alcançar 75°C.

Nestas condições de temperatura são destruídas sementes indesejáveis, são eliminados organismos patogênicos e não formam gases de cheiro desagradáveis. Esta temperatura também poderá ser usada para aquecimento de

água das residências rurais, diminuindo os gastos com energia elétrica durante o período que antecede o início da cura do composto.

5 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O início do século XXI está sendo marcado por uma revolução tecnológica em um ritmo de crescimento muito acelerado. Mesmo com tamanha tecnologia, no que diz respeito ao meio ambiente, pouco tem sido feito em pró do mesmo. O problema com o lixo nos grandes centros urbanos ainda é tratado de forma arcaica e ineficiente. Os aterros sanitários apenas mascaram temporariamente a realidade de um falso destino que está sendo dado ao lixo urbano. Como principais problemas dos aterros podemos citar a poluição dos lençóis freáticos, a emissão de gás metano, a falta de lugares para futuros aterros e a exposição de pessoas, que habitam próximo a estes lugares, à doenças e o mau cheiro.

Segundo Brown citado em (CUNHA, V.;CAIXETA FILHO, J.V.,2002), a produção de lixo pode variar desde 0,46 kg/hab/dia, em Kano (Nigéria), à 2,27 kg/hab/dia, em Chicago (Estados Unidos). No Brasil estes dados variam de 0,5 à 1,0 kg/hab/dia.

Para os municípios brasileiros, os gastos com o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos podem chegar a 15% de seus orçamentos e ainda sim provocam grande impacto ao meio ambiente, poluindo o ar, água e solo e comprometem a saúde da população devido a proliferação de vetores nocivos ao homem (CUNHA, V.;CAIXETA FILHO, J.V.,2002)

A parte orgânica destinada aos aterros sanitários pode chegar a 50% do total do volume dos resíduos sólidos urbanos (MILLER P.R.M.,*et al.*,1998). Porém, esta parte orgânica pode ser coletada separadamente e como destino pode ser usada em práticas de compostagem. Já Pereira Neto em 1993 citado em (MUNIZ A.C.S.*et al.*), observou que 65% dos resíduos sólidos urbanos são constituídos de matéria putrescível, que pode causar poluição e contaminação de populações de mais baixa renda na periferia dos grandes centros urbanos. Este lixo quando mal gerenciado, constitui uma fonte perigosa de insalubridade podendo não só favorecer o desenvolvimento de vetores e germes causadores de inúmeras

doenças como pode também favorecer a emissão de gases com mal cheiro e afetam gravemente a paisagem (TORRES *et al.*,1997)

O processamento dos resíduos sólidos para uso agrícola via compostagem termofílica pode ser uma alternativa racional e cíclica para o retorno de nutrientes ao solo, servindo como um fertilizante orgânico de ótima qualidade reduzindo o custo com fertilizantes convencionais. A pratica de compostagem tem um custo operacional baixo e pode contribuir com a redução da poluição do ar e da água subterrânea, evitando problemas ambientais pela redução da carga orgânica dos aterros (SILVA S.C.*et al.*,2002).

A compostagem é uma prática biotecnológica onde os resíduos sólidos orgânicos são aproveitados para formar um aporte de nutrientes para o solo, depois de passarem por um processamento bioxidativo tendo como principais agentes os fungos, bactérias e outros microrganismos (PAZ *et al.*,2003). Ela tem como finalidade a obtenção rápida e em melhores condições de estabilidade da matéria orgânica sem causar mau cheiro. Quando sob condições ótimas de umidade, temperatura e aeração o processo é rápido e tem como resultado um produto de boas características físico-químicas para ser usado na agricultura e jardinagem (TEIXEIRA *et al.*,2004).

As leiras de compostagem podem ser feitas de algumas maneiras. Podem ser montadas em formato piramidal com o auxilio de carregadeiras motorizadas ou em menor escala manualmente, podem ser alongadas e com seção transversal trapezoidal, porém não muito largas para facilitar a aeração em seu interior ou podem ser feitas diretamente na terra apenas sobrepondo camadas como era feito antigamente (GOTTSCHALL, R. 1990).

Na compostagem aeróbia observa-se muitas mudanças de temperatura causadas pelo metabolismo dos microorganismos. Inicialmente ocorre a fase mesofílica seguida da etapa termofílica de decomposição que é caracterizada pelo aumento de temperatura durante os dois primeiros meses. Chegando a temperaturas de pasteurização, os microrganismos patogênicos são destruídos,selecionando a microbiota benéfica para o solo. Ainda sim, este calor é capaz de eliminar o poder germinativo se sementes presentes no composto.

Posteriormente há um decréscimo de temperatura até e equilíbrio com o ambiente (PAZ *et al.*, 2003; KIEHL 1985).

A temperatura da leira esta diretamente ligada com a aeração, umidade do composto, quantidade de matéria orgânica e relação C/N. Esta combinação de fatores em níveis ótimos para a atividade microbiana determinará se o tempo de cura do composto será longo ou curto.

Para aumentar a aeração nas camadas inferiores sujeitas a compactação sem utilizar ventilação mecânica, Gottschall, R. (1990) sugere a montagem de um contra-piso formado por tijolos furados deitados horizontalmente em sequência sem a utilização de argamassa para uní-los. Tal medida é fundamental para garantir a oxigenação da camada inferior da leira sujeita a uma sobrecarga maior.

Para acelerar a decomposição da matéria orgânica, é essencial que haja uma previa inoculação. Isso levou alguns países da América do Norte a comercializar produtos, geralmente microrganismos isolados, porém sem ter referencia comprovada quanto a sua quanto a sua composição química e biológica. Há uma enorme variedade de “raças selecionadas” que atuam sobre diferentes resíduos como lixo domiciliar, resíduos agrícolas, lixo comercial, entre outros (KIEHL, E.J., 1985).

No entanto, a atividade microbiana em uma leira é muito dinâmica, ocorrendo seguidas sucessões de predominância de certos microrganismos. A alteração de fatores como temperatura, oxigênio, teor de umidade, substancias químicas que estão sendo digeridas em determinado momento, pH e relação carbono/nitrogênio, possibilitam que certos microrganismos encontrem um ambiente mais favorável para sua rápida multiplicação e conseqüentemente dominam a maior parte da massa enquanto que outros morrem (KIEHL, E.J., 1985).

As pilhas que são constantemente reviradas alcançam temperaturas maiores que chegam a 75°C, favorecendo a atividade de microrganismos termo tolerantes influenciada pelo aumento da disponibilidade de oxigênio. Já as pilhas menos aeradas tem seu aquecimento limitado a no máximo 60°C favorecendo o metabolismo de organismos mesófilos (KIEHL, E.J., 1985).

O tamanho e a origem dos rejeitos orgânicos têm grande influência nas fases meso e termofílicas da compostagem. Materiais triturados emitem praticamente o dobro de CO_2 durante o pico de produção se comparados a materiais densos. Isso quer dizer que o CO_2 é resultado do catabolismo que também tem como reflexo o aumento de temperatura (MILLER, F.C., 1992).

O calor da massa interna da leira pode ser mantido principalmente pela água devido a seu alto calor específico e transferido das partes mais quentes, portanto mais ativas, para partes mais frias podendo acontecer naturalmente pelo vapor da água que é dissipada ou artificialmente com constantes revolvimentos. É importante que se monitore a umidade da leira pois ela regulará a atividade microbiana.

Segundo Kiehl (1985), quando a umidade é inferior a 40% a atividade microbiana é reduzida. Para as bactérias 30% ou menos de umidade, significa um fator limitante para a decomposição da matéria orgânica. Valores abaixo de 12% cessam quase que todas as atividades biológicas.

É importante que uma leira tenha um teor de umidade variando entre 60% e 40%. Em materiais com baixa granulometria como lodo de esgoto, borra de café e certos restos de alimentos recomendam-se adicionar maravalha de serrarias para deixar a massa total menos densa, pois eles têm grande capacidade de retenção de água. Outra medida para a redução de água na massa seria aumentar o número de revolvimentos para liberar com mais facilidade o vapor da água na parte mais interna da leira (KIEHL, E.J., 1985).

O formato da leira é uma importante medida a ser escolhida para controlar a temperatura. Leiras muito grande e com uma relação área/volume baixa, tem dificuldade em perder calor para o meio pela evaporação da água. Para materiais como restos vegetais palhentos e com granulometria alta cujo alto índice de poros facilite a evaporação, pode-se abrir mão das leiras grandes (MILLER, F.C., 1992).

Segundo McGregor et al. (1981) citado por (MILLER, F.C., 1992), cerca de 90% da perda de calor de uma leira ocorre por evaporação, enquanto que apenas 10% é perdido para o meio diretamente.

O pH durante o processo de compostagem sofre considerável elevação. No início do processo o pH terá um valor aproximado igual a 6. Caso a disponibilidade de oxigênio seja restrita esse número pode cair ainda mais. Em condições normais de aeração, o pH sobe rapidamente para valores entre 8 e 9. Ao entrar nesta zona de alcalinidade, boa parte do nitrogênio orgânico transforma-se em nitrogênio amoniacal e é facilmente perdido para a atmosfera (PEREIRA-NETO, J.T.*et.al.* 1987, citado por (MILLER, F.C., 1992)

Se tomarmos como exemplo o estado de São Paulo que tem uma população de 29 milhões de habitantes em regiões urbanas e que cada indivíduo produza em media 0,5 kg/dia de resíduo cuja parte orgânica equivalha a 50% do total e assumindo uma perda de 40% do peso durante o processo, teremos uma oferta potencial de aproximadamente 1.000.000 ton/ano de composto (SILVA S.C.*et al.*,2002).

A preocupação maior quanto a aplicação do composto nas lavouras esta no fato deste composto conter teores altos de metais pesados na sua constituição. Isto pode ser contornado fazendo-se uma coleta seletiva mais eficiente e adquirindo maquinas capazes de separar metais nas usinas de compostagem (SILVA S.C.*et al.*,2002). Quando o composto é produzido de forma correta, sua aplicação melhora as condições físicas e químicas do solo assim como os processos biológicos. A associação do composto com adubos minerais, maximiza a eficiência deste ultimo (SILVA S.C.*et al.*,2002).

As matérias primas para se ter o composto são os resíduos orgânicos que contem nutrientes e energia, água (umidade), e oxigênio. Este material ativar a atividade microbiana (fungos, bactérias e actinomicetos) e produzirá como produto gás carbônico resultante da respiração, calor gerado pelas reações exotérmicas e o composto orgânico (MILLER P.R.M.,*et al.*,1998)

Segundo FATMA(1985),citado por (MUNIZ A.C.S.*et.al*), a responsabilidade de tratamento e disposição dos resíduos orgânicos recai apenas sobre o gerenciamento municipal que na maioria dos casos utiliza os aterros sanitários como forma de disposição. As usinas de separação de lixo com biodigestores,

incineração e compostagem termofílica são formas de tratamento de resíduos orgânicos menos difundidas.

É indispensável a coleta seletiva da fração orgânica para que o tratamento via compostagem termofílica continue sendo um modelo eficiente e de baixo custo econômico. Caso esta medida não se cumpra, seria necessária a montagem de pátios de compostagem baseados em usinas de separação com biodigestores, que são muito onerosas e tem como produto um composto de baixa qualidade pois ainda sim contem grande quantidade de partículas de materiais indesejáveis (MILLER P.R.M., *et al.*, 1998)

As altas temperaturas atingidas durante a fase termofílica de decomposição da matéria orgânica, garantem a ausência de patógenos que podem ser comum ao homem no produto final que será manuseado como adubo. Com isso a compostagem pode ser vista como um processo que possibilita o total cumprimento dos itens considerados como fundamentais para um desenvolvimento sustentável entre os centros urbanos e a parte rural onde ambas se beneficiarão (MILLER P.R.M., *et al.*, 1998)

Segundo Kiehl (1985), Existe uma classificação quanto a temperatura nas fases pelas quais a matéria-prima passa durante o processo de compostagem. Ela pode ser criófila quando há fermentação anaeróbia e a temperatura não se eleva, ou pode ser mesófila quando o processo de degradação da matéria-orgânica é aeróbio e as temperaturas podem chegar a 55°C, ou ainda sim pode ser termófila quando a temperatura é superior a 55°C.

Em experimento feito em Toledo na região oeste do estado do Paraná foi utilizado a energia bio-térmica gerada por atividade microbiana em leiras de compostagem na manutenção de organismos aquáticos. Utilizando serpentinas de alumínio junto com compressores de aquário, foi conseguido um incremento de temperatura de 2°C em reservatórios de 310 litros utilizando uma pilha de compostagem de 1,2m³. Esta elevação de temperatura contribuiu para o aumento de 24% do peso de alevinos de tilápia (HERMES, C.A. *et al.*, 2003).

A energia bio-térmica da compostagem também foi utilizada em experimentos para testar sua eficiência em aquecimento de estufas no New

Alchemy Institute em Massachessetts. Leiras de compostagem foram montadas em ambiente fechado ao lado de estufas funcionando como uma câmara de calor contendo teores maiores de CO_2 que podem ser usados para enriquecer a atmosfera da estufa com concentrações maiores deste gás e com calor. O calor também é transportado por tubulações contendo água em seu interior para aquecer o substrato nas zonas de raízes no período do inverno, funcionando como um radiador (DIVER, S., 2001)

6 - METODOLOGIA

6.1- Data e local do trabalho

Este trabalho foi realizado durante os meses de agosto e setembro de 2007 no Laboratório de Biotecnologia Neolítica (pátio de compostagem) da UFSC, localizado ao lado da Prefeitura Universitária, no município de Florianópolis no bairro da Trindade. O clima em Florianópolis é classificado como Cfa com o verão e o inverno bem definidos e primavera e outono semelhantes, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano.

6.2- Materiais utilizados para a montagem das leiras de compostagem e do sistema de aquecimento de água.

- Palha de grama cortada e folhas rasteladas no campus universitário.
- Maravalha de pinus contendo fezes e urina de cabrito e cobaias vindas do biotério central (cama do biotério).
- Restos orgânicos vindos de todas as lanchonetes do campus, do hospital universitário (HU), do refeitório universitário (RU) e da rede de supermercado Hippo.
- Bombonas plásticas de 50l de volume onde será transportado o resíduo orgânico.
- Garfo agrícola para realizar operações de inoculação e revolvimento da leira.
- Barril de plástico de 200L de volume que será usado como trocador de calor.
- Barril de metal de 200L de volume que será usado como trocador de calor.
- Tubulação de PVC para fazer as devidas instalações de água.
- Tubulação de drenagem com diâmetro de 100mm

6.3- Montagem das leiras

A palhada recolhida no campus será transportada até o pátio com auxílio das tobas da Prefeitura Universitária. Este material será utilizado para iniciar a montagem da leira. Primeiramente, sobre o solo, a palhada será utilizada para fazer as bordas da leira que terá 2,0 m de largura por 6 m de comprimento e 1 m de altura. Os dois barris serão posicionados verticalmente no meio da leira antes de começar sua montagem, e as tubulações serão conectadas. Para evitar anaerobiose na parte basal da leira onde estará sujeita a maior compactação, serão instaladas duas tubulações de drenagem sobre o solo, longitudinalmente a leira para facilitar a aeração da parte inferior.

Feita a borda da leira e os barris já devidamente instalados, começa a construção da leira. Na parte interna delimitada pela borda de palha é depositada uma camada inicial de cama de biotério misturada com composto ainda ativo para inoculação inicial. Em seguida é depositada a fração orgânica que está dentro das bombonas. Com auxílio do garfo o resíduo orgânico é misturado com a cama e composto e depois coberto com palha para dificultar o acesso de moscas na parte interna da leira. É importante que a cobertura da leira inicialmente seja feita com bastante palha, pois nesta fase a temperatura da leira ainda não é alta o suficiente para evitar a presença de larvas de mosca.

No dia seguinte, a palha que foi utilizada para a cobertura da leira será puxada para a lateral formando uma borda mais elevada que ajudará a conter o próximo material a ser depositado não deixando ocorrer transbordamentos. Feita a borda, despeja-se os restos de alimento contidos dentro das bombonas em cima da leira e mistura-se com auxílio do garfo. Sobre esta mistura é colocada uma camada de cama e depois coberta com palha.

Esta operação completa explicada no parágrafo anterior será realizada uma vez a cada 3 dias até a leira chegar a 1 m de altura quando começará a coleta de dados de temperatura da leira e da água.

6.4- Instalação dos trocadores de calor

A parte superior do barril possui dois orifícios onde a tubulação será conectada. Em um orifício será instalada a tubulação de PVC de entrada de água fria. Neste bucal será adaptado um tubo que conduzirá a água fria internamente até o fundo do trocador de calor. Estando o trocador de calor cheio de água quente, ao abrir o registro da água fria, esta entrará na parte inferior sem muita turbulência e “empurrará” a coluna de água quente forçando sua saída pelo segundo bucal.

No outro bucal será instalada a tubulação de PVC para a saída da água quente que será conduzida até o chuveiro.

Serão instalados dois coletores de 200 L com 90cm de altura e 62cm de diâmetro. Um de metal e outro de plástico.

6.5- Coleta de dados

A coleta de temperatura da leira será realizada diariamente em 4 diferentes alturas e em 6 diferentes pontos (3 próximos ao trocador metálico e os outros 3 ao plástico) totalizando 24 tomadas. As alturas serão de 20, 40, 60 e 80 cm de altura em relação ao solo. O termômetro utilizado tem haste de 40 cm, lê a temperatura em (°F) e será colocado lateralmente pela parede da leira nas devidas cotas. Serão feitas as médias das diferentes cotas próximas ao coletor metálico e outras próximas ao coletor plástico.

A temperatura da água será medida diariamente utilizando um recipiente de vidro devidamente isolado termicamente por isopor para minimizar as perdas de calor para o meio. Será preenchido com uma primeira amostra para esquentar a superfície do vidro e depois de 30 segundos será descartada para receber a

segunda e válida amostra para leitura. Serão feitas duas leituras, uma para a água contida no reservatório metálico e outra para a contida no reservatório plástico.

Dados da temperatura do ar e de precipitação foram adquiridos pela EPAGRI de Florianópolis e são referentes ao bairro do Itacorubi.

7- RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1- Temperatura da leira

A temperatura da leira foi de fundamental importância para este experimento e por isso foi monitorada diariamente, assim como a temperatura do ar e a precipitação.

A leira atingiu sua temperatura média máxima já no quinto dia após sua montagem. Os principais fatores que contribuíram para esta rápida elevação da temperatura foram:

- Intensa inoculação inicial com composto quente.
- Utilização de tubulação de oxigenação na parte basal.
- Manutenção de teores de umidade adequados.
- Frequentes operações de revolvimento na primeira semana.

Do quarto ao décimo sétimo dia do experimento a temperatura baixou de 70°C para 60°C, mantendo-se ainda na fase termofílica. Desta última data até o final do experimento a média de temperatura da leira continuou em 60°C.

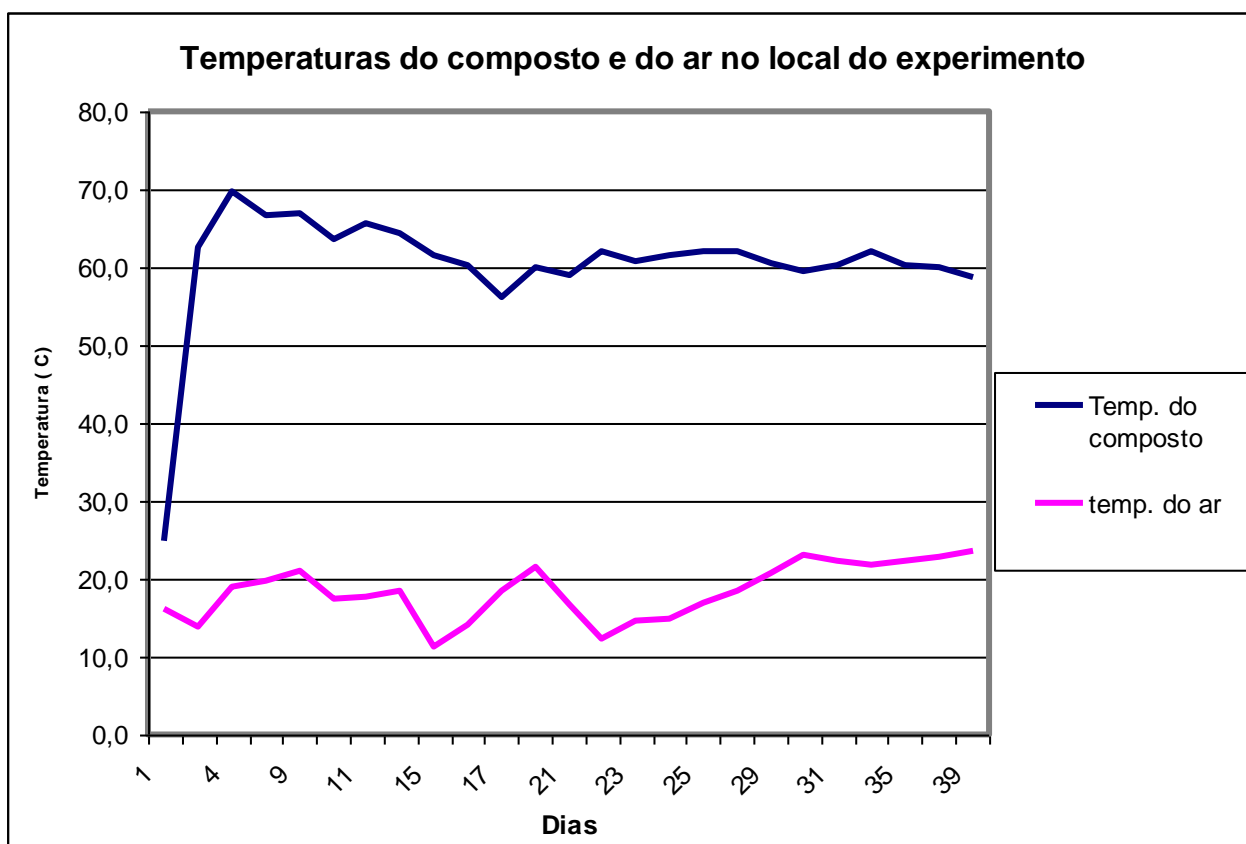
A oscilação da temperatura do ar não influenciou na temperatura da leira, como mostra o gráfico n.1. Este fato pode estar ligado ao grande volume da leira que era de 13 m³ aproximadamente e sua alta temperatura média que durante o experimento não esteve abaixo dos 60°C. Provavelmente a oscilação de temperatura do ar teve algum efeito sobre a temperatura da parte mais periférica da leira, porém estes dados não teriam significância neste experimento.

Outro fator que pode ter minimizado a ação da temperatura do ar sobre a temperatura da leira está no fato do local do experimento estar situado em

ambiente protegido por prédios e árvores de grande porte, reduzindo a ação de ventos fortes

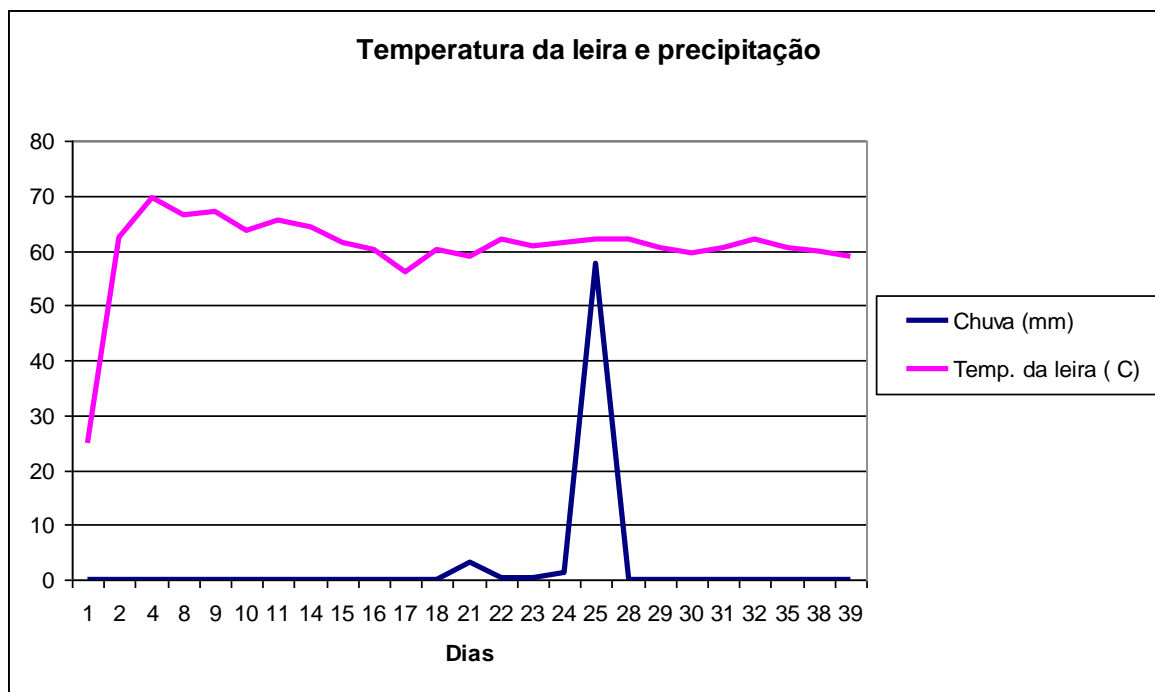
Para aumentar a temperatura na parte central da leira, sujeita a anaerobiose, foram utilizados bambus com os nós furados acomodados horizontalmente que ligavam o centro da leira com a parte exterior lateral.

Gráfico 1.



A precipitação também não influenciou na temperatura da leira como mostra o gráfico n.2. A cobertura de palha da leira pode ter colaborado para desviar parte da água da chuva para as laterais e a água que conseguiu entrar na leira pode ter evaporado rapidamente, visto que as maiores temperaturas da mesma encontram-se na parte superior.

Gráfico2



7.2- Temperatura da água

Com o objetivo de avaliar as diferentes matérias utilizadas para fazer troca de calor entre o composto e a água, tentou-se montar uma leira mais uniformemente possível para não interferir nos resultados. Mesmo a leira apresentando focos de diferentes temperaturas em seu corpo, a variação da mesma ao longo do experimento foi praticamente a mesma nos seis pontos de medição como mostra o gráfico 3.

O trocador de calor metálico obteve um melhor desempenho em ganho de temperatura da água em relação ao plástico a partir do segundo dia de aquecimento. No final de quatro dias de aquecimento (96 horas), o trocador metálico continha água aquecida a 58,7°C, enquanto que o plástico aqueceu a água a 55,2°C. Ambos aquecedores iniciaram o aquecimento da água quando a mesma estava com 22°C como mostra o gráfico 4.

Gráfico 3.

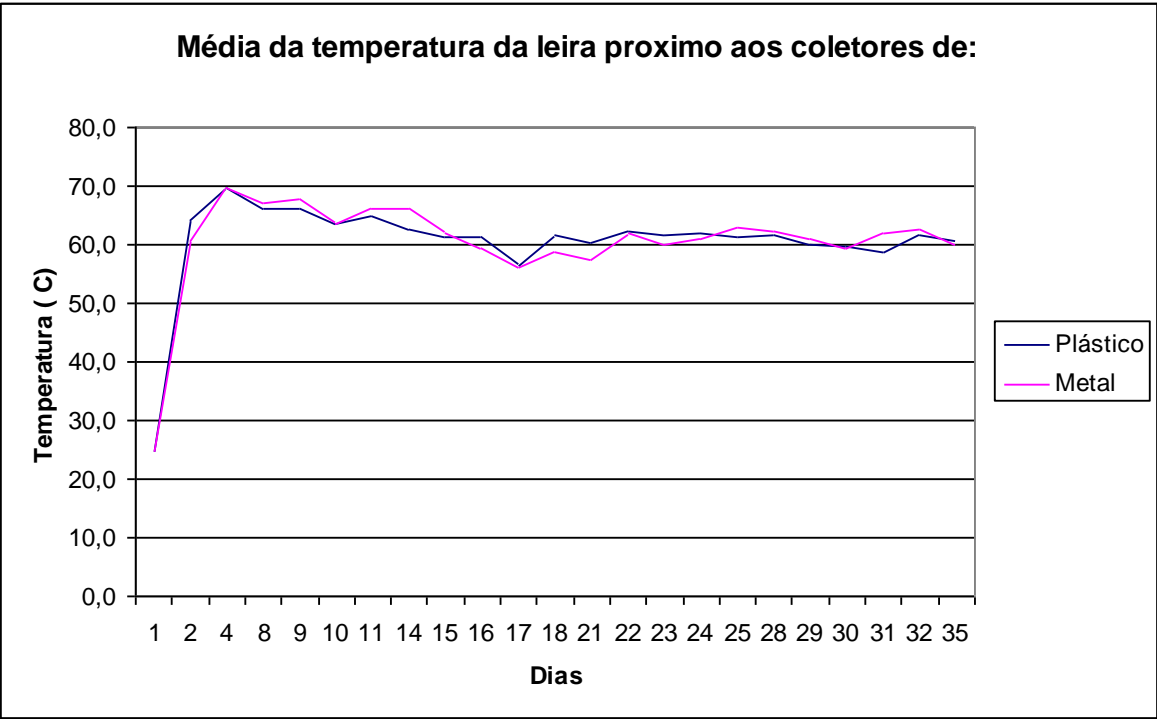
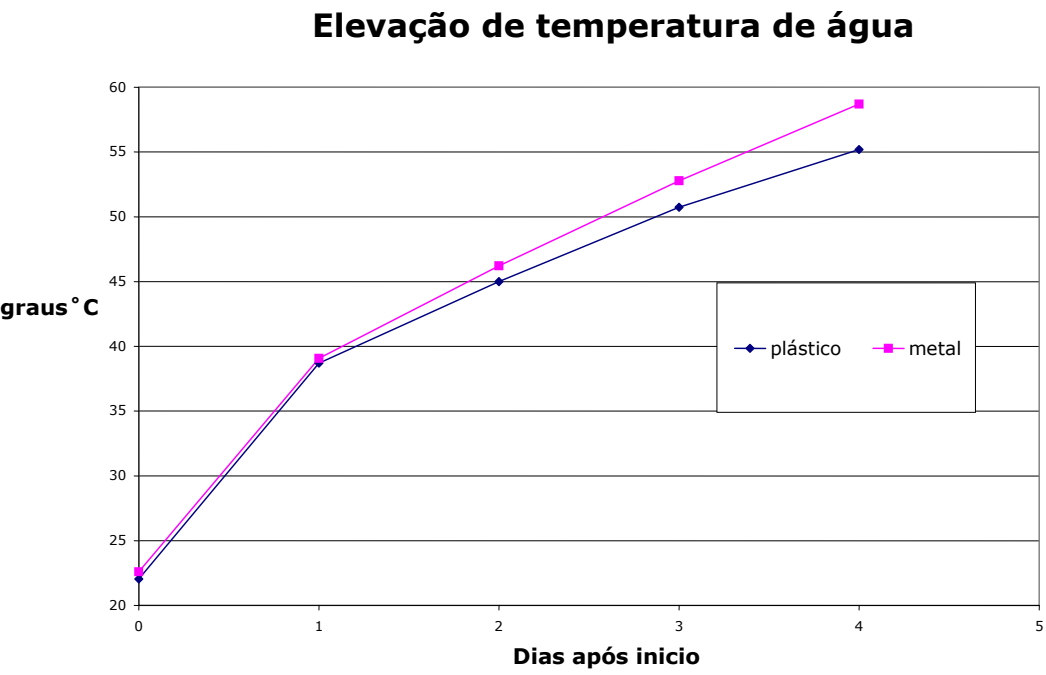


Gráfico 4.



7.3- Velocidade de aquecimento da água.

Para o tocador de calor plástico, a água aqueceu diariamente de forma decrescente. Do primeiro ao quarto dia, partindo de 22°C, a temperatura elevou diariamente 16,7°C, 6,3°C, 5,7°C e 4,5°C. Isso significa que no primeiro dia o volume total da água aqueceu 0,7°C/h, 0,26°C/h no segundo dia, 0,24°C/h no terceiro dia e finalmente 0,19°C/h no ultimo dia. A média ao longo do período de 96 horas foi de 0,35°C/h para um volume de 200 litros.

Para o trocador de calor metálico a velocidade de aquecimento foi ligeiramente mais rápida. Partindo da mesma temperatura inicial, a temperatura elevou diariamente 16,4°C/h, 7,2°C/h, 6,6°C/h e 5,9°C/h. A velocidade de aquecimento da água no trocador metálico do primeiro ao quarto dia foi respectivamente de 0,7°C/h, 0,3°C/h, 0,27°C/h e 0,25°C/h. A média de aquecimento no período de 96 horas foi de 0,38°C/h para um volume de 200 litros.

7.4- Resistência dos materiais

Apesar do trocador de calor metálico ser mais eficiente do que o plástico quanto a velocidade de aquecimento da água, o mesmo depois de 35 dias de funcionamento, foi severamente corroído pelo composto apresentando varias fissuras(anexo foto) que permitiram infiltrações comprometendo a qualidade da água.

Esta acelerada corrosão pode ter sido acelerada pelas altas temperaturas e teor de 60% de umidade da leira na parte externa do trocador.

Existe no mercado coletores de mesmo volume de aço inox que poderiam substituir o metálico comum e provavelmente resistiriam por um período bem maior, porém seu custo é elevado.

O trocador plástico mostrou ser resistente a ação corrosiva do composto e não sofreu nenhum dano, mesmo sendo usado em experimento semelhante durante um ano anteriormente.

8- Conclusão

O aquecimento da água utilizando compostagem como fonte bio-térmica é viável. Ambos os materiais foram eficientes na troca de calor, porém o trocador metálico apesar de trocar calor mais rapidamente, corroeu antes de dois meses de uso e mostrou-se inviável. Tambores de aço inox poderiam funcionar bem e substituir o trocador metálico comum.

O tempo de cura do composto está diretamente ligado com a disponibilidade de oxigênio, umidade do composto, formato e volume da leira e intensidade de revolvimentos.

Em um experimento similar a este realizado anteriormente no mesmo local, este sistema de aquecimento de água funcionou por mais de 4 meses na mesma leira, fazendo operações de revolvimento periódicas a cada 3 semanas.

Este sistema pode ser uma boa opção para ser instalado em propriedades rurais que tenham resíduos sólidos vegetais e animais em quantidade suficiente para montar leiras de média e grande dimensão. Isso reduziria os gastos com energia elétrica e com aquisição de fertilizantes, podendo também reduzir o impacto ambiental gerado pelas esterqueiras.

9 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDREOLI, C.V.; BACKES, S.A.; CHERUBINI, C. **Avaliação do processo de compostagem utilizando podas verdes e resíduos do saneamento.** Anais FERTBIO 2002, Rio de Janeiro, 2002.
- CHITOLINA, J. C. et al. **Decomposição da matéria orgânica de compostos de lixo urbano e posterior preparo de extratos nítrico-perclórico.** EMBRAPA Informática Agropecuária (Circular Técnica 1), 2001, 12p
- CUNHA, v.; CAIXETA FILHO, J.V. **Gerenciamento da coleta de resíduos sólidos urbanos:** Estruturação e aplicação de modelo não-linear de programação por metas. Visto em: <http://www.scielo.br/pdf/gp/v9n2/a04v09n2.pdf> no dia 22/10/2007.
- DIVER, S. **Compost Heated Greenhouses.** In Appropriate Technology Transfer for Rural Areas. January 2001
- GOTTSCHALL, R. **Kompostierung. Optimale Afbereitung und Verwendung organischer Materialien im ökologischen Landbau.** Alternative Konzepte; 45. 1990.
- HERMES, C.A. *et al.*, 2003. **Compostagem como fonte térmica para aquecimento de água na aquicultura.** Acta Sci. Technol. Maringá, v. 27, n. 2, p. 197-205, July/Dec. Visto em: http://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&lr=&q=related:Mf7A_Gve5fIJ:scholar.google.com/ no dia 10/03/2007
- KIEHL, E.J. **Fertilizantes Orgânicos.** Editora Agronômica "Ceres" Ltda. 1985.
- MILLER, F.C. **Composting as a Process Based on the Control of Ecologically Selective Factors.** In (F. Blaine Metting,Jr.,Ed.). Soil Microbial Ecology. Applications in Agricultural and Environmental Management, 1992.

- MILLER, P.R.M. *et al.* **Coleta seletiva e compostagem de lixo orgânico um novo caminho para a reciclagem.** Revista Limpeza Pública n.49, outubro 1998

--MUNIZ A.C.S.*et.al.*,**Eficiência de transformação de carbono total e nutrientes no processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos.** Acesso em:<http://www.webresol.org/textos/Efici%C3%Aancia%20de%20transforma%C3%A7%C3%A3o%20de%20carbono%20total%20e%20nutrientes%20no%20processo%20de%20compostagem%20de%20res%C3%ADduos%20s%C3%B3lidos%20org%C3%A2nicos.pdf>, no dia 12/07/2007 às 19:00

-PORTUGAL G. **Lixo urbano e doméstico.** Acesso em: <http://www.gpca.com.br/gil/artigos.htm>, no dia 22/10/2007 às 22:00h

-SILVA, F.C. da. *et al.* **Recomendações Técnicas para o Uso Agrícola do Composto de Lixo Urbano no Estado de São Paulo 3.** EMBRAPA, Circular Técnica 3, ISSN 1677-8480 Campinas, SP Novembro, 2002.

-TEIXEIRA, L.B. *et al.* **Processo de Compostagem, a Partir de Lixo Orgânico Urbano, em Leira Estática com Ventilação Natural.** EMBRAPA, Circular Técnica 33, ISSN 1517-211X Belém, PA, outubro, 2004.

10- ANEXOS



Figura1: Tubos de drenagem utilizados como aeradores



Figura 2: Instalação da tubulação de aquecimento



Figura 3: Trocadores de calor plástico e metálico e tubo de aeração.



Figura 4: Tubulação de drenagem utilizada como aerador



Figura 5: Montagem da leira de compostagem



Figura 6: Calor liberado pela atividade microbiana



Figura 7: Leira pronta com trocadores de calor instalados

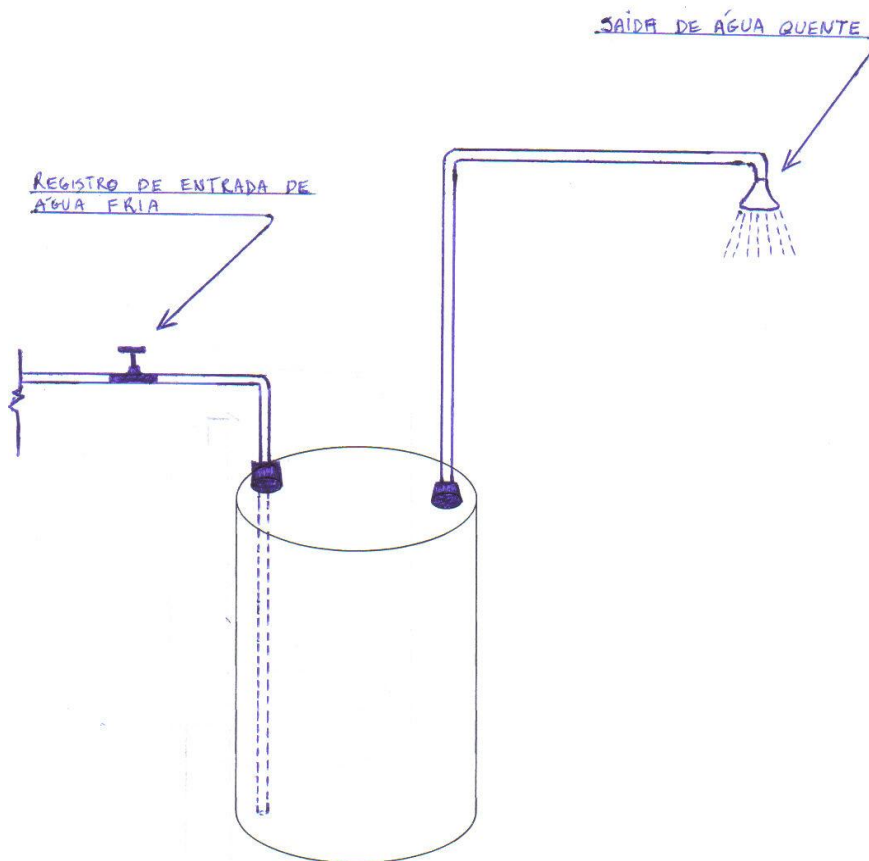


Figura 8: Funcionamento do trocador de calor enterrado dentro da leira